

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-258117

(43) 公開日 平成9年(1997)10月3日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 26/02			G 0 2 B 26/02	B
// G 0 2 F 1/35	5 0 1		G 0 2 F 1/35	5 0 1

審査請求 未請求 請求項の数32 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平8-71821

(22) 出願日 平成8年(1996)3月27日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 福島 暢洋

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 松本 昂

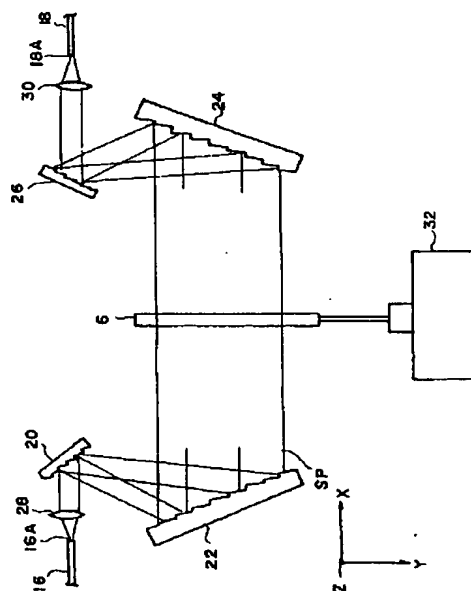
(54) 【発明の名称】 光イコライザ

(57) 【要約】

【課題】 本発明は波長特性が可変な光イコライザに関し、調節するファクターと得られる波長特性との間に簡単な対応関係が成り立つ光イコライザの提供を課題とする。

【解決手段】 入力光を波長成分がY方向に空間的に分離された分光ビームSPに変換する回折格子20、22と、分光ビームSPを出力光に変換する回折格子24、26と、分光ビームSPと交差し且つYZ平面内で移動可能に設けられ透過率の平面的な分布を有する減衰プレート6とから構成する。

光イコライザの第1実施形態を示す平面図



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の光路に沿って供給された入力光を、第1の方向に直交する第2の方向に厚みを有し波長成分が上記第2の方向に空間的に分離された上記第1の方向に伝搬する分光ビームに変換する第1の手段と、上記分光ビームを第2の光路に沿って出力される出力光に変換する第2の手段と、

上記分光ビームと交差し且つ上記第1の方向と実質的に直交する平面内で移動可能に設けられ透過率の平面的な分布を有する減衰プレートとを備えた光イコライザ。

【請求項2】 請求項1に記載の光イコライザであって、

上記第1及び第2の光路をそれぞれ決定する第1及び第2の光ファイバを更に備え、

該第1及び第2の光ファイバはそれぞれ第1及び第2の励振端を有し、

上記第1の手段は上記第1の励振端に対して動作的に配置される第1及び第2の回折格子からなり、

上記第2の手段は上記第2の励振端に対して動作的に配置される第3及び第4の回折格子からなり、

上記分光ビームは上記第2及び第3の回折格子の間に形成される光イコライザ。

【請求項3】 請求項2に記載の光イコライザであって、

上記第1の励振端及び上記第1の回折格子の間に設けられる第1のレンズと、

上記第2の励振端及び上記第4の回折格子の間に設けられる第2のレンズとを更に備え、

上記第1の回折格子及び上記第2の回折格子は同じ格子定数を有し、

上記第3の回折格子及び上記第4の回折格子は同じ格子定数を有し、

これにより上記分光ビームはコリメートビームとして与えられる光イコライザ。

【請求項4】 請求項2に記載の光イコライザであって、

上記第1及び第2の回折格子の間に設けられ偏波面を90°回転させる第1の旋光素子と、

上記第3及び第4の回折格子の間に設けられ偏波面を90°回転させる第2の旋光素子とを更に備えた光イコライザ。

【請求項5】 請求項4に記載の光イコライザであって、

上記第1の旋光素子は上記第1及び第2の方向に直交する第3の方向に対して45°傾斜した第1の主軸を有する第1の1/2波長板からなり、

上記第2の旋光素子は上記第3の方向に対して45°傾斜した第2の主軸を有する第2の1/2波長板からなる光イコライザ。

【請求項6】 請求項1に記載の光イコライザであっ

て、

上記分光ビームと交差するように設けられ上記分光ビームの偏波面を90°回転させる旋光素子を更に備えた光イコライザ。

【請求項7】 請求項6に記載の光イコライザであって、

上記旋光素子は上記第2の方向に対して45°傾斜した主軸を有する1/2波長板である光イコライザ。

【請求項8】 請求項1に記載の光イコライザであって、

上記平面内で上記減衰プレートの移動及び位置決めを行う駆動手段を更に備えた光イコライザ。

【請求項9】 請求項8に記載の光イコライザであって、

上記駆動手段は上記減衰プレートを上記第2の方向と上記第1及び第2の方向に直交する第3の方向とのうちの少なくともいずれか一方に変位させる手段を含む光イコライザ。

【請求項10】 請求項8に記載の光イコライザであって、

上記駆動手段は上記減衰プレートを上記第1の方向の周りに回転させる手段を含む光イコライザ。

【請求項11】 請求項1に記載の光イコライザであって、

上記減衰プレートにおいてそれぞれ等しい透過率を与える点の集合として与えられる複数の等透過率線は上記第2の方向と平行な直線である光イコライザ。

【請求項12】 請求項1に記載の光イコライザであって、

上記減衰プレートにおいてそれぞれ等しい透過率を与える点の集合として与えられる複数の等透過率線は同心円上にある光イコライザ。

【請求項13】 請求項1に記載の光イコライザであって、

上記減衰プレートの透過率の分布は上記第1及び第2の方向と直交する第3の方向に延在する遮蔽ストライプを含む光イコライザ。

【請求項14】 請求項13に記載の光イコライザであって、

上記遮蔽ストライプの幅は上記第3の方向に変化する光イコライザ。

【請求項15】 請求項1に記載の光イコライザであって、

上記減衰プレートの透過率の分布は上記第1及び第2の方向と直交する第3の方向に延在する透過ストライプを含む光イコライザ。

【請求項16】 請求項1に記載の光イコライザであって、

上記透過ストライプの幅は上記第3の方向に変化する光イコライザ。

【請求項17】 請求項1に記載の光イコライザであって、
上記減衰プレートは複数ある光イコライザ。

【請求項18】 請求項17に記載の光イコライザであって、
上記複数の減衰プレートのそれぞれの透過率は上記第2の方向に周期的に変化し、その周期は減衰プレート毎に異なる光イコライザ。

【請求項19】 請求項1に記載の光イコライザであって、
上記第1及び第2の手段の波長特性を相殺するような透過率の分布を有する補償プレートを更に備えた光イコライザ。

【請求項20】 請求項1に記載の光イコライザであって、
上記第1の手段及び上記減衰プレートの間に設けられ上記分光ビームから第1の分岐ビームを分岐する第1のビームスプリットと、
上記第1の分岐ビームにおける波長が変化する方向に配列される複数の光／電気変換エレメントを有する第1の受光アレイと、
該第1の受光アレイの出力信号に基づき上記入力光のスペクトルをモニタリングする第1のスペクトルモニタとを更に備えた光イコライザ。

【請求項21】 請求項20に記載の光イコライザであって、
上記減衰プレート及び上記第2の手段の間に設けられ上記分光ビームから第2の分岐ビームを分岐する第2のビームスプリットと、
上記第2の分岐ビームにおける波長が変化する方向に配列される複数の光／電気変換エレメントを有する第2の受光アレイと、
該第2の受光アレイの出力信号に基づき上記出力光のスペクトルをモニタリングする第2のスペクトルモニタとを更に備えた光イコライザ。

【請求項22】 請求項21に記載の光イコライザであって、
上記第1及び第2の受光アレイの出力信号の比較により上記光イコライザの透過率の波長特性をモニタリングする手段を更に備えた光イコライザ。

【請求項23】 請求項1に記載の光イコライザであって、
上記減衰プレート及び上記第2の手段の間に設けられ上記分光ビームから分岐ビームを分岐するビームスプリットと、
上記分岐ビームにおける波長が変化する方向に配列される複数の光／電気変換エレメントを有する受光アレイと、
該受光アレイの出力信号に基づき上記出力光のスペクトルをモニタリングするスペクトルモニタとを更に備えた

光イコライザ。

【請求項24】 請求項1に記載の光イコライザであって、
上記入力光及び上記出力光の少なくともいずれか一方を増幅する光増幅器を更に備えた光イコライザ。

【請求項25】 請求項24に記載の光イコライザであって、
上記光増幅器は、希土類元素がドーパされた光増幅媒体と、該光増幅媒体が利得帯域を有するように該光増幅媒体をポンピングする手段とを含む光イコライザ。

【請求項26】 請求項24に記載の光イコライザであって、
上記入力光は波長分割多重された信号光を含む光イコライザ。

【請求項27】 請求項1に記載の光イコライザであって、
白色光を出力する光源を更に備え、該白色光が上記入力光として供給される光イコライザ。

【請求項28】 請求項1に記載の光イコライザであって、
上記分光ビームの少なくとも一部に交差するボラライザを有し上記平面内で変位可能なボラライザプレートを更に備えた光イコライザ。

【請求項29】 請求項1に記載の光イコライザであって、
上記分光ビームに交差するように設けられ互いに異なる方向の主軸をそれぞれ有する複数の領域からなる波長板を更に備え、
該波長板は上記平面内で変位可能である光イコライザ。

【請求項30】 第1の光路に沿って供給された入力光を、第1の方向に直交する第2の方向に厚みを有し波長成分が上記第2の方向に空間的に分離された上記第1の方向に伝搬する分光ビームに変換する分光手段と、
上記分光ビームを反射して反射ビームにする反射手段と、
上記分光ビーム及び上記反射ビームと交差し且つ上記第1の方向と実質的に直交する平面内で移動可能に設けられ透過率の平面的な分布を有する減衰プレートとを備え、
上記反射ビームは上記分光手段によって第2の光路に沿って出力される出力光に変換される光イコライザ。

【請求項31】 請求項30に記載の光イコライザであって、
上記第1及び第2の光路をそれぞれ決定する第1及び第2の光ファイバと、
該第1及び第2の光ファイバの励振端と上記分光手段との間に設けられるレンズとを更に備え、
上記第1及び第2の光ファイバは上記第1及び第2の方向と直交する第3の方向にわずかに離間しており、
上記反射手段における上記分光ビームの入射方向と上記

反射ビームの反射方向とがなす角は上記第2の方向と直交する平面上で定義される光イコライザ。

【請求項32】 請求項30に記載の光イコライザであって、
上記第1及び第2の光路を決定するための共通の光ファイバと、

該光ファイバの励振端と上記分光手段との間に設けられるレンズと、

上記光ファイバに動作的に接続される光サーキュレータとを更に備え、

上記反射手段における上記分光ビームの入射方向と上記反射ビームの反射方向とがなす角は 0° である光イコライザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は透過率と波長の関係を表す波長特性が可変な光イコライザに関する。エルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)を始めとする光ポンピング型の光増幅器が実用化レベルにある。この種の光増幅器においては、いろいろな目的で光フィルタが用いられる。

【0002】例えば、自然放出光等の不要な光を除去するために、狭い通過帯域を有するバンドパス光フィルタが使用される。また、利得と波長の関係を表す光増幅器の利得特性は必ずしもフラットではないので、光増幅器を波長分割多重(WDM)システムに適用する場合のようにフラットな利得特性が要求される場合には、光増幅器の利得特性と逆の波長特性を与える光フィルタが使用される。

【0003】光増幅器の利得特性や信号光の波長はシステムの稼働条件に応じて変化するので、波長特性が可変である光フィルタが要望されている。本願明細書では、このような波長特性が可変な光フィルタを光イコライザと称している。

【0004】

【従来の技術】従来、光イコライザに関連する技術として、特開昭54-92766号(米国特許4,197,008)の光学的フィルタや特開昭61-501798号(米国特許4,575,193)の光学空間周波数フィルタが知られている。また、本願発明者は、波長特性が可変であり且つ透過率の偏波依存性がない光フィルタを先に提案した(特願平7-214732号)。

【0005】更に、機械的又は電氣的に減衰率を変化させることができる光アッテネータが知られている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来の光アッテネータでは、任意の成形された波長特性を得ることができない。

【0007】従来の波長特性が可変な光フィルタにあっては、調節するファクターと得られる波長特性との間に

簡単な対応関係が成り立たないという問題がある。よって、本発明の目的は、波長特性が可変で且つ調節するファクターと得られる波長特性との間に簡単な対応関係が成り立つ光イコライザを提供することにある。

【0008】本発明の他の目的は、任意の成形された波長特性を得ることができる光イコライザを提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明のある側面によると、第1の手段と第2の手段と減衰プレートとを備えた光イコライザが提供される。

【0010】第1の手段は、第1の光路に沿って供給された入力光を第1の方向に伝搬する分光ビームに変換する。分光ビームは、第1の方向に直交する第2の方向に厚みを有しており、分光ビームの波長成分は第2の方向に空間的に分離されている。

【0011】第2の手段は、分光ビームを第2の光路に沿って出力される出力光に変換する。減衰プレートは、分光ビームと交差し且つ第1の方向と実質的に直交する平面内で移動可能に設けられている。減衰プレートは透過率の平面的な分布を有する。

【0012】この光イコライザにおいては、減衰プレートを移動させることによって波長特性を変化させることができる。また、調節されるファクター(減衰プレートの位置)と得られる波長特性との間に簡単な対応関係が成り立つ。

【0013】望ましくは複数の減衰プレートが用いられる。これにより任意の成形された波長特性を得ることができる。本発明の他の側面によると、第1の光路に沿って供給された入力光を、第1の方向に直交する第2の方向に厚みを有し波長成分が上記第2の方向に空間的に分離された上記第1の方向に伝搬する分光ビームに変換する分光手段と、上記分光ビームを反射して反射ビームにする反射手段と、上記分光ビーム及び上記反射ビームと交差し且つ上記第1の方向と実質的に直交する平面内で移動可能に設けられ透過率の平面的な分布を有する減衰プレートとを備え、上記反射ビームは上記分光手段によって第2の光路に沿って出力される出力光に変換される光イコライザが提供される。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、本発明の望ましい実施の形態を添付図面を参照して詳細に説明する。図1は本発明が適用される光イコライザの基本構成を示す図である。ビームエキスパンダ2は第1の光路OP1に沿って供給された入力光を分光ビームSPに変換する。分光ビームSPの波長成分は、分光ビームSPの厚みの方向に空間的に分離されている。

【0015】以下の説明では、分光ビームSPの伝搬方向をX軸、分光ビームSPの厚みが定義される方向をY軸、X軸及びY軸に直交する方向をZ軸とするXYZ座

標系を採用する。

【0016】ビームコンデンサ4は、分光ビームSPを第2の光路OP2に沿って出力される出力光に変換する。分光ビームSPの断面は例えば長円形或いは長方形である。分光ビームSPはコリメートビームとして図示されているが、本発明はこれに限定されない。即ち、レンズの適当な組み合わせによってコリメートビーム以外の形状の分光ビームを形成することができる。本発明は、分光ビームSPの波長成分が分光ビームSPの伝搬方向に直交する方向に空間的に分離されていることのみによって限定される。

【0017】分光ビームSPと交差するように減衰プレート6が設けられている。減衰プレート6は透過率の平面的な分布を有している。減衰プレート6は、YZ平面内で移動可能に設けられている。ここで、「移動」と言う語は、Y軸及びZ軸上の変位並びにX軸回りの回転並びに変位及び回転の組み合わせを含むものとして理解される。

【0018】尚、Y軸上では分光ビームSPの波長成分の波長が増大する方向を正とする。図2の(A)及び図2の(B)を参照して、図1の光イコライザの動作原理を説明する。今、図2の(A)に符号8で示されるように、減衰プレート6の減衰率TがY軸に沿って連続的に増加しているものとする、分光ビームSPの性質によって、Y座標は波長に変換され、図2の(B)に符号10で示されるようなこの光イコライザの波長特性が得られる。ここでは、透過率のY軸上の分布(符号8)に対応して、波長λが増大するのに従って透過率Tが連続的に増加するような波長特性が得られている。

【0019】図1において、減衰プレート6をY軸の正方向に変位させることを想定する。こうすると、透過率の分布8は図2の(A)においてY軸方向に平行移動して符号12で示されるようになる。

【0020】これに伴って、この光イコライザの波長特性においても図2の(B)に符号14で示されるように、波長特性10が波長λが増大する方向に平行移動する。このように図1の光イコライザにおいては、減衰プレート6を移動させることによって波長特性を変化させることができる。また、図2の(A)及び図2の(B)により説明したように、調節されるファクター(減衰プレート6の位置)と得られる波長特性との間に簡単な対応関係が成り立つことがわかる。

【0021】図3及び図4はそれぞれ本発明の光イコライザの第1実施形態を示す斜視図及び平面図である。第1の光路OP1及び第2の光路OP2(図1参照)を決定するために、それぞれ光ファイバ16及び18が用いられている。光ファイバ16及び18はそれぞれ励振端16A及び18Aを有している。

【0022】ビームエキスパンダ2(図1参照)は励振端16Aに対して動作的に配置される第1及び第2の回

折格子20及び22からなり、ビームコンデンサ4は励振端18Aに対して動作的に配置される第3及び第4の回折格子24及び26からなる。これにより分光ビームSPは第2及び第3の回折格子22及び24の間に形成される。

【0023】コリメートビーム系を形成するために、励振端16A及び18Aにそれぞれ対向してレンズ28及び30が設けられている。回折格子20、22、24及び26は反射型のもので図示されているが、透過型の回折格子もちろん使用可能である。また、ビームエキスパンダ2及びビームコンデンサ4としてプリズム等の他の分光素子を用いることもできる。

【0024】この実施形態では、第1の回折格子20の格子定数は第2の回折格子22のそれと等しく、第3の回折格子24の格子定数は第4の回折格子26のそれと等しい。このこと並びにレンズ28及び30が用いられていることにより、分光ビームSPはコリメートビームとして与えられる。

【0025】第1及び第2の回折格子20及び22の格子定数と第3及び第4の回折格子24及び26の格子定数とを等しくすることによって、回折格子20、22、24及び26の配置形態を対称にすることができる。また、各回折格子に同じブレース角を与えることによって、この光イコライザの挿入損失を小さくすることができる。

【0026】減衰プレート6をYZ平面内で移動させると共にその位置決めを行うためにドライバ32が設けられている。ドライバ32は、減衰プレート6をY軸及びZ軸に沿って変位させるためのメカニズムと、減衰プレート6をX軸の回りに回転させるためのメカニズムとを有している。減衰プレート6をいずれの方向に変位させるか或いは変位及び回転のいずれを選択するかは減衰プレート6における透過率の分布及び所望する波長特性に応じて決定すべきである。その具体例については後述する。

【0027】励振端16Aから放射された光はレンズ28によってコリメートビームにされる。このコリメートビームにおいては、入力光の波長成分はY軸及びZ軸のいずれについても空間的に分離されていない。

【0028】レンズ28からのコリメートビームは第1の回折格子20により波長成分毎に異なる回折角で回折される。この実施形態では長波長の光ほど大きな角度で回折される。

【0029】第1の回折格子20からの回折光は更に第2の回折格子22で同じように回折され、これにより分光ビームSPが得られる。回折格子20及び22の格子定数が等しいことにより、分光ビームSPは互いに平行な光線束として与えられる。

【0030】回折格子20及び22の各格子はZ軸と平行に配置されている。これにより、分光ビームSPにお

いては、その波長成分がY軸について空間的に分離されている。

【0031】分光ビームSPは減衰プレート6を透過するときに、減衰プレート6の減衰率の分布に従って波長成分毎に異なる減衰を受ける。第3及び第4の回折格子24及び26のそれぞれの格子もZ軸と平行に配置されている。減衰プレート6を透過した分光ビームSPは、回折格子24及び26によりこの順で回折され、再びコリメートビームにされる。このコリメートビームにおいては、波長成分はY軸及びZ軸のいずれに関しても空間的に分離されていない。

【0032】回折格子26からのコリメートビームはレンズ30により集束されて励振端18Aから光ファイバ18へ導き入れられる。図3に示されるように、回折格子20、22、24及び26は筐体34内に固定されている。筐体34の蓋は図示されていない。

【0033】光ファイバ16及びレンズ28は励振端16A及びレンズ28が予め定められた相対的位置関係になるようにファイバコリメータ36により保持されており、光ファイバ18及びレンズ30も同じようにファイバコリメータ38により保持されている。

【0034】ファイバコリメータ36及び38は筐体34の側面に形成された開口をそれぞれ覆うように筐体34に固定されており、これにより筐体34の内外の光学的インターフェースがなされている。

【0035】図5の(A)～(F)を参照して、減衰プレートの第1の例とその駆動モードを説明する。この減衰プレート6Aは、Z軸に関して透過率が単純に変化する透過率の分布を有している。具体的には、減衰プレート6Aにおいてそれぞれ等しい透過率を与える点の集合として与えられる複数の等透過率線ETLは、Y軸と平行な直線である。分光ビームSPと交差する部分は長方形で示されている。この長方形のY軸方向の長さが分光ビームSPの幅を与える。

【0036】減衰プレート6Aの減衰率は、図5の(A)において下方に行くに従って(Z軸座標が負に向かうに従って)大きくなっている。減衰プレートにおけるこのような透過率の分布は、例えば、ガラス板上に徐々に厚みが小さくなるような金属膜を蒸着により形成することによって得ることができる。

【0037】図5の(A)に示される減衰プレート6Aの配置形態においては、透過率がY軸の方向に変化していないので、図5の(B)に示されるように、得られる波長特性は一定である。

【0038】減衰プレート6AをY軸方向に変位させたとしてもこの波長特性は変化しないが、減衰プレート6AをZ軸の方向に変位させると、図5の(B)の波長特性は上下方向に変化する。即ち、減衰プレート6AをZ軸の正の方向に変位させると透過率は減少し、これとは逆に減衰プレート6AをZ軸の負の方向に変位させると

透過率は増加する。従って、この光イコライザを用いて可変光減衰器の機能が得られるのである。

【0039】次に、図5の(C)に示されるように、減衰プレート6Aを分光ビームSPの伝搬方向(X軸の正に向かう方向)に向かって時計方向に回転させると、図5の(D)に示されるように波長入が増大するのに従って透過率Tが増加するような波長特性が得られる。当該回転角を90°以内で大きくするのに従って波長特性の傾斜は大きくなる。

【0040】図5の(E)に示されるように減衰プレート6Aを反時計方向に回転した場合には、図5の(F)に示されるように波長入が増大するのに従って透過率Tが減少するような波長特性が得られる。

【0041】図6の(A)～(F)を参照して減衰プレートの第2の例及びその駆動モードを説明する。図6の(A)には、複数の等透過率線ETLが同心円上にある減衰プレート6Bが示されている。当該中心で透過率が最も低くなっている。

【0042】図6の(A)では中心が分光ビームSPのY軸方向におけるほぼ中央に対応しているので、図6の(B)に示されるように透過率の最小値を与える波長特性が得られている。

【0043】図6の(C)に示されるように、減衰プレート6BをY軸の正に向かって変位させると、図6の(D)に示されるように透過率の最小値を与える波長特性が長波長側に变化した波長特性が得られる。尚、減衰プレート6Bの減衰率分布の中心(最低透過率点)がY軸方向について分光ビームSPから外れると、透過率Tが入に関して単調に増加又は減少するような波長特性が得られる。

【0044】図6の(E)に示されるように、図6の(A)に対して減衰プレート6BをZ軸の正方向に変位させると、図6の(F)に示されるように、図6の(B)の曲線を全体的に下げ且つ湾曲曲率を小さくしたような波長特性が得られる。

【0045】図7の(A)に示される減衰プレート6Cは、Z軸の方向に延在する遮蔽ストライプ40を有している。遮蔽ストライプ40は例えば金属薄膜からなり、ストライプ40上における透過率は原理的には0%、ストライプ40外の透過率は原理的には100%である。

【0046】このような減衰プレート6Cを用いることによって、図7の(B)に示されるように、光バンドリジェクションの波長特性が得られる。リジェクションバンドの中心波長は減衰プレート6CをY軸の方向に変位させることによって変化する。

【0047】図7の(C)に示される減衰プレート6Dは、Z軸の方向に延在する透過ストライプ(スリット)42を有している。ストライプ42上における透過率は原理的には100%であり、ストライプ42外の透過率は原理的には0%である。

【0048】減衰プレート6Dを用いることによって、図7の(D)に示されるように、光バンドパスの波長特性を得ることができる。パスバンドの中心波長は、減衰プレート6DをY軸の方向に変位させることによって変化する。

【0049】図7の(E)に示される減衰プレート6Eは、幅がZ軸の方向に変化する遮蔽ストライプ40'を有している。この減衰プレート6EをZ軸の方向に変位させると、遮蔽ストライプ40'における分光ビームSPと交差する部分の面積が変化するので、図7の(F)に示されるようにリジエクションバンドの幅を変えることができる。また、減衰プレート6Cと同じように減衰プレート6EをY軸の方向に変位させることによって、リジエクションバンドの中心波長を変化させることができる。

【0050】減衰プレート6EをY軸の正方向に変位させることによってリジエクションバンドの中心波長は長波長側に変化し、減衰プレート6EをY軸の負方向に変位させることによって中心波長は短波長側に変化する。

【0051】図示はしないが遮蔽ストライプ40'と同じように透過ストライプ42の幅をZ軸の方向に変化させることによってパスバンドの幅を変化させるようにしてもよい。

【0052】以上説明した減衰プレートの5つの具体例とそれらの駆動モードにおいては、調節するファクターと得られる波長特性との間に簡単な対応関係が成り立つので、所望の波長特性を容易に得ることができる。

【0053】図8は本発明の光イコライザの第2実施形態を示す平面図である。この光イコライザは第1実施形態(図4参照)と対比して減衰プレート6と第3の回折格子24との間に1/2波長板44及び補償プレート46が分光ビームSPと交差するように設けられている点で特徴付けられる。1/2波長板44及び補償プレート46のいずれか一方又は両方が第2の回折格子22と減衰プレート6との間に設けられていてもよい。

【0054】1/2波長板44は、分光ビームSPが直線偏波であるとした場合におけるその偏波面を90°回転させる旋光素子として機能する。90°の回転を与えるために、1/2波長板44の主軸(光学軸)はY軸及びZ軸に対して45°傾斜している。

【0055】このような旋光素子を用いている理由は次の通りである。一般に回折格子の回折効率は若干の偏波依存性を有している。特にこの実施形態のように4つの回折格子20, 22, 24及び26が用いられている場合、偏波依存性が累積する。

【0056】そこで、第1及び第2の回折格子20及び22で生じた偏波依存性と第3及び第4の回折格子24及び26で生じた偏波依存性とを相殺させるために、分光ビームSPの途中に1/2波長板44を挿入しているのである。

【0057】補償プレート46は、回折格子20, 22, 24及び26の波長特性を相殺するような透過率の分布を有している。つまり、各回折格子自体が波長特性を有している場合、図5の(A)の減衰プレート6Aが使用される場合或いはいかなる減衰プレートも使用されない場合であっても、図5の(B)に示されるような平坦な波長特性が得られないことがあるので、これを補償するために透過率の適切な分布を有する補償プレート46が分光ビームSPと交差するように設けられるのである。

【0058】図9は本発明の光イコライザの第3実施形態を示す平面図である。この光イコライザは、図8の第2実施形態と対比して、4つの減衰プレート6(#1~#4)が用いられている点で特徴付けられる。減衰プレート6の数は4に限定されない。

【0059】各減衰プレート6をYZ平面内で独立に移動させると共にその位置決めを行うために改良されたドライバ32'が用いられている。図10の(A)~

(C)は図9の光イコライザの波長特性の例を示す図である。図10の(A)に示される波長特性は、減衰プレート6(#4)が分光ビームSPと交差しないようにこれをZ軸の方向に変位させると共に、減衰プレート6

(#1~#3)がそれぞれ図7の(C)に示されるような透過ストライプ42を有するようにした場合に得られる。3つのピークが波長軸上で等間隔に並ぶように減衰プレート6(#1~#3)のY座標が調節され、これにより各パスバンドの中心波長が設定されるのである。

【0060】このような光イコライザを用いることによって、例えば、WDMシステムの受信局において複数チャネルの信号光を選択すると共にその背景にある雑音光を除去して、信号対雑音比を改善することができる。

【0061】また、減衰プレート6(#4)として図5の(E)に示されるような減衰プレート6Aを用いて、図5の(F)に示される波長特性と図10の(A)に示される波長特性とを重ね合わせることによって、図10の(B)に示されるように複数チャネルのスペクトルピークに重み付けを行うことができる。

【0062】更に、適切な任意の波長特性を重ね合わせることによって、図10の(C)に示されるような所望の任意の波長特性を得ることができる。このように複数の減衰プレートを用いることによって、任意の成形された波長特性を得ることができる。

【0063】図11の(E)を参照すると、図9の光イコライザの特性の他の例が示されている。図11の(A)から(D)は、それぞれ、減衰プレート(#1~#4)の透過率のY軸方向の分布を示している。各分布では透過率T(対数スケール)がY軸の方向に周期的に変化しており、その周期は減衰プレート毎に異なっている。例えば、減衰プレート6(#1~#4)におけるそれぞれの減衰率の分布の周期は、分光ビームSPの幅

(Y軸方向の長さ)の0.5倍、1倍、2倍及び3倍である。

【0064】このような減衰プレート6(#1~#4)のそれぞれのY座標を適宜に調節することによって、図11の(E)に示されるように、透過率Tが波長λに対して連続的に変化する任意の波長特性を得ることができる。

【0065】一般的には、限られた波長範囲内で透過率が連続的に変化する特性は、フーリエ級数の原理に従って、有限個の正弦曲線(ここでは正弦関数の対数)の重ね合わせによって表現可能である。実用的には、例えば光増幅器の利得特性を平坦にするためには、3~4個の減衰プレートを用いれば足りる。

【0066】図12は本発明の光イコライザの第4実施形態を示す平面図、図13はA方向矢視図、図14は図12の光イコライザの全体を示す斜視図である。入力光のスペクトルをモニタリングするために、回折格子22と減衰プレート6(#1)との間には、分光ビームSPから入力光に対応する分岐ビームを分岐するためのビームスプリッタ48が設けられている。

【0067】この分岐ビームは受光アレイ52へ供給される。受光アレイ52は、分岐ビームにおける波長が変化する方向、即ちY軸の方向に配列される複数の光/電気変換エレメント50を有している。

【0068】入力スペクトルモニタ54は、受光アレイ52の出力信号に基づき入力光のスペクトルをモニタリングする。ビームスプリッタ48としてはハーフミラーを用いることができる。分光ビームSPのZ軸方向の長さが各光/電気変換エレメント50の受光径よりも大きい場合には、ビームスプリッタ48と受光アレイ52との間にシリンドリカルレンズを配置して、分岐ビームがX軸に関して集束されるようにしてもよい。

【0069】受光アレイ52としては、フォトダイオードアレイ、例えば浜松ホトニクス社製S4111シリーズを用いることができる。また、CCDを有するリニアイメージセンサを採用することもできる。

【0070】本発明では、分光ビームSPの波長成分は、Y軸の方向に空間的に分離されているので、このような受光アレイを用いることによって入力光のスペクトルを容易にモニタリングすることができる。

【0071】出力光のスペクトルをモニタリングするために、補償プレート46と回折格子24との間には、分光ビームSPから出力光に対応する分岐ビームを分岐するためのビームスプリッタ54が設けられている。この分岐ビームは受光アレイ58へ供給される。

【0072】受光アレイ58は、分岐ビームにおける波長が変化する方向、即ちY軸の方向に配列される複数の光/電気変換エレメント56を有している。出力スペクトルモニタ60は、受光アレイ58の出力信号に基づき出力光のスペクトルをモニタリングする。

【0073】このように入力光及び出力光のそれぞれについてスペクトルのモニタリングを行うことによって、この光イコライザの波長特性を演算により求めることができる。この演算は、例えば、受光アレイ52及び58の出力信号の比較(差分を求めること)を含む。

【0074】この実施形態では入力光及び出力光のそれぞれのスペクトルをモニタリングしているが、入力光及び出力光のいずれか一方のスペクトルだけをモニタリングするようにしてもよい。

【0075】この実施形態では、分光ビームSPに交差するように設けられる旋光素子としての1/2波長板44(図9等参照)に代えて、2つの旋光素子が用いられている。

【0076】第1の旋光素子は回折格子20及び22間に配置される1/2波長板62であり、この1/2波長板62はその透過光の偏波面を90°回転させる。第2の旋光素子は回折格子24及び26間に配置されるもう1つの1/2波長板64であり、この1/2波長板64はその透過光の偏波面を90°回転させる。

【0077】1/2波長板62及び64の主軸(光学軸)はZ軸に対して45°傾斜している。1/2波長板62によって、回折格子20の偏波依存性及び回折格子22の偏波依存性が相殺され、1/2波長板64によって、回折格子24の偏波依存性及び回折格子26の偏波依存性が相殺される。

【0078】このように2つの1/2波長板により回折格子の偏波依存性を排除するようにしているのは、スペクトルのモニタリングにおける偏波依存性を排除するためである。

【0079】尚、図14においては、図面の明瞭さを確保するために、1/2波長板62及び64の図示は省略されている。図15は本発明の光イコライザに適用可能な自動コントローラのブロック図である。ここでは、入力スペクトルモニタ54及び出力スペクトルモニタ60を有する第4実施形態の光イコライザ66が用いられている。

【0080】光源68からの光は、光ファイバ16を介して光イコライザ66へ供給され、そこで影響を与えられた出力光は光ファイバ18を介して出力される。モニタリング結果に基づく演算等を行うために、CPU(中央演算ユニット)70が設けられている。CPU70には、入力スペクトルモニタ54(図12参照)からの信号72と、出力スペクトルモニタ60からの信号74と、所望する波長特性に関するデータ80とが供給される。

【0081】光イコライザ66の入力光及び出力光のスペクトルのモニタリング結果は、それぞれCPU70から表示装置82及び84へ送られる。また、入力光及び出力光のモニタリング結果に基づく適切な演算をCPU70が行って、その演算の結果得られる光イコライザ6

6の波長特性がCPU70から表示装置86へ送られる。

【0082】CPU70は、場合によっては、回折格子、特に図12の回折格子24及び26の波長特性による影響を除去するために、スペクトルモニタからの信号72及び74に電氣的な補正を行う。

【0083】プロセッサ88は、CPU70からの命令に基づいて、各減衰プレート6の位置決めを制御するための信号をドライバ32'へ送る。本発明では、調節するファクターと得られる波長特性との間に簡単な対応関係が成り立つので、所望する任意の成形された波長特性を得るための演算を容易に自動化することができる。

【0084】図16は本発明の光イコライザの第5実施形態を示す平面図である。この光イコライザは、図4の第1実施形態と対比して、減衰プレート6と第3の回折格子24との間に波長板90及びボラライザプレート92をこの順に配置している点で特徴づけられる。

【0085】波長板90及びボラライザプレート92はドライバ94に接続されて、それぞれ独立にYZ平面内における移動及び位置決めがなされるようになっていゝる。図17の(A)に示されるように、波長板90は、互いに異なる方向の主軸をそれぞれ有する3つの領域90A、90B及び90Cからなる。領域の数は3より大きい数でもよいし2でもよい。

【0086】ボラライザプレート92は、図17の(B)に示されるように、透明な領域92Aとボラライザ領域92Bと遮蔽領域92Cとからなる。いま、図16において、ボラライザプレート92が分光ビームSPに交差せず且つ波長板90が分光ビームSPに交差するようにドライバ94が制御されているものとする。こうすると、出力光の偏波状態として、波長に応じて偏波状態が連続的に変化しているという他の方法では実現困難な状態を提供することができる。また、このような波長板90を用いることによって、この光イコライザをデボラライザとして機能させることもできる。

【0087】一方、波長板90が分光ビームSPに交差しないようにし、ボラライザプレート92が分光ビームSPに交差するようにし、この状態でボラライザプレート92をZ軸の方向に変位させると偏光度が可変になる。

【0088】図17の(B)に示されるようにボラライザ領域92BのZ軸方向の長さが一定である場合には平坦な波長／偏光特性が得られる。ボラライザ領域92BのZ軸方向の長さをY軸に対して変化するようにしておくことによって、任意の波長／偏光特性を得ることができる。即ち波長に応じて任意の偏光度を得ることができる。

【0089】図18は本発明の光イコライザを適用可能なWDM(波長分割多重)システムのブロック図である。複数の入力ポート96へそれぞれ供給された互いに

異なる波長($\lambda_1 \sim \lambda_n$)の信号光は、光マルチプレクサ98で加え合わされる。光マルチプレクサ98から出力されたWDM信号光は、光ファイバ伝送路100を通過して受信局へ伝送される。

【0090】受信局は、伝送されたWDM信号光を各チャネルの信号光に分ける光デマルチプレクサ102を有している。得られた信号光はチャネル数に応じて設けられる出力ポート104から出力される。

【0091】光ファイバ伝送路100の途中には複数の(図では2つの)光増幅器106が設けられている。また、光デマルチプレクサ102の直ぐ上流側には本発明の光イコライザ108が設けられている。

【0092】光増幅器106の各々は、送信局に設けられる、即ち光マルチプレクサ98の直ぐ下流側に設けられる光ブースタであってもよいし、光中継器に内蔵されていてもよいし、受信局に設けられる光ポストアンプであってもよい。図19は図18のWDMシステムに適用可能な光増幅器のブロック図である。この光増幅器は、第1端110A及び第2端110Bを有するドーブファイバ(光増幅媒体)110と、ポンプ光を出力するレーザダイオード等からなるポンプ光源112と、ポンプ光を第2端110Bからドーブファイバ110へ供給するための光カップラ114とを備えている。光カップラ114としては、カップリング比が波長に依存するWDMカップラを用いることができる。

【0093】増幅すべきWDM信号光の波長が1.55 μm 帯にある場合、ドーブファイバ110のドーバントとしてはEr(エルビウム)が適しており、この場合ポンプ光の波長としては0.98 μm 帯または1.48 μm 帯が有力である。

【0094】ポンプ光がドーブファイバ110へ供給されると、ドーブファイバ110はWDM信号光の波長を含む利得帯域を有するようにポンピングされる。このポンピング状態でWDM信号光が光アイソレータ116を介して第1端110Aからドーブファイバ110へ供給されると、ドーブファイバ110においてWDM信号光が増幅される。

【0095】増幅された信号光は光カップラ114及び光アイソレータ118をこの順に通過して光増幅器から出力される。図示された例では、光カップラ114をドーブファイバ110の第2端110Bに接続してWDM信号光とポンプ光とがドーブファイバ110内を互いに逆方向に伝搬するようにしている。即ちバックワードポンピングである。

【0096】ポンプ光源をドーブファイバ110の第1端110Aに動作的に接続してWDM信号光及びポンプ光がドーブファイバ110内を同方向に伝搬するようにし、フォワードポンピングを行うようにしてもよい。また、2台のポンプ光源を用いて双方向ポンピングを行ってもよい。

【0097】このような光増幅器をWDMシステムに適用する場合、光増幅器のゲインチルトに対処することが要求される。具体的には次の通りである。図20を参照して光増幅器のゲインチルトを説明する。波長1548, 1551, 1554及び1557nmの4チャンネルのWDM信号光を同じ入力パワー(-35 dBm/ch)でドープファイバへ入力したときの出力光のスペクトルが示されている。縦軸は出力パワー(dBm)であり、横軸は波長(nm)である。

【0098】Aで示されるスペクトルはポンプ光のパワーが比較的大きいときに対応しており、負のゲインチルトが生じている。即ち、ゲインの波長微分は負である($dG/d\lambda < 0$)。

【0099】Cで示されるスペクトルはポンプ光のパワーが比較的小さいときに対応しており、正のゲインチルトが得られている($dG/d\lambda > 0$)。Bで示されるスペクトルはゲインチルトを生じさせないための最適なポンプ光パワーに対応しており、ゲインの波長微分は0である($dG/d\lambda = 0$)。何れのスペクトルも、ASE(増幅された自然放出光)のスペクトルに各チャンネルの信号光に対応する4つの鋭いスペクトルが重畳された形状を有している。

【0100】このように、図18の各光増幅器のゲインチルト(波長特性)は少なくとも各ポンプ光のパワーに依存して変化する。また、各チャンネルの信号光それ自体のパワーや環境条件(温度等)によっても複雑に変化する。

【0101】ゲインチルトが複数の光増幅器によって累積すると、受信局へ伝送される信号光の強度がチャンネル毎に異なるものとなり、信号対雑音比がチャンネル毎にバラつく。

【0102】これに対処するために光イコライザの適用が提案される。本発明の光イコライザで任意の成形された波長特性を得ることができるので、上述のようなゲインチルトの変化に容易に対応することができる。例えば、図18のシステムにおいては、出力ポート104から出力される各チャンネルの信号光の相対パワーが一定になるように光イコライザ108の波長特性が調節される。

【0103】また、光マルチプレクサ98の直ぐ下流側に本発明の光イコライザを設けておき、光増幅器106で生じるゲインチルトを予め予測し、その予測値に基づいて各チャンネルのパワーに重み付けを行ってもよい。これがプリアンファシスである。

【0104】図21を参照すると、本発明の光イコライザが適用される光源装置が示されている。白色光源120は広い波長帯域に渡って比較的平坦なスペクトルを有する白色光を出力する。

【0105】この白色光は本発明の光イコライザ108を通して出力される。光イコライザ108の波長特性は

コントローラ122によって調節される。この構成によると、任意の波長特性を有する光源装置の提供が可能になる。

【0106】図16の光イコライザや図21の光源装置は光システムの評価において有用である。例えば図16の光イコライザを用いて光システムの対偏波依存特性を評価することができる。

【0107】図22は本発明の光イコライザの第6実施形態を示す図である。ここでは、ミラー124を用いることによって回折格子20及び22に図1のビームエキスパンダ2の機能だけでなくビームコンデンサ4の機能をも持たせ、これにより例えば図4の回折格子24及び26並びにレンズ30を不要にしている。

【0108】入力光の光路を決定するための光ファイバ16と出力光の光路を決定するための光ファイバ18'は、Z軸の方向に僅かに離間している。図では光ファイバ16及び18'はY軸の方向に僅かに離間して図示されているが、これは図面を明瞭にするための配慮である。

【0109】光ファイバ16のためのレンズ28は光ファイバ18'に対しても用いられる。光ファイバ16の励振端から放射された光はレンズ28によってコリメートビームにされ、このコリメートビームは第1の回折格子20により回折される。

【0110】回折格子20からの回折光はさらに第2の回折格子22により回折されて波長成分がY軸の方向に空間的に分離された分光ビームSP1に変換される。分光ビームSP1は補償プレート46、ビームスプリッタ48'、減衰プレート6及び1/2波長板(旋光素子)44をこの順に通ってミラー124で反射される(反射ビームSP2)。

【0111】ミラー124における分光ビームSP1の入射方向と反射ビームSP2の反射方向とがなす角はXZ平面上で極めて鋭い鋭角として定義される。反射ビームSP2は今度は1/2波長板44、減衰プレート6、ビームスプリッタ48'及び補償プレート46をこの順に通って第2の回折格子22へ供給される。

【0112】反射ビームSP2に対しては回折格子22及び20はビームコンデンサとして機能し、回折格子20の回折光は波長成分が空間的に分離されていないコリメートビームとなる。このコリメートビームはレンズ28によって集束されて光ファイバ18'へ導入される。

【0113】このように本実施形態によると、これまでの種々の実施形態の機能を得るための部品点数を少なくすることができる。分光ビームSP1及び反射ビームSP2はほぼ重なり合っているため1つのビームスプリッタ48'を用いて入力光及び出力光の双方のスペクトルをモニタリングすることができる。

【0114】図中左から右に向かって伝搬する分光ビームSP1の一部はビームスプリッタ48'で分岐されて

受光アレイ52へ供給される。また、図中右から左に向かって伝搬する反射ビームSP2の一部はビームスプリッタ48'で分岐されて受光アレイ58へ供給される。図12の入力スペクトルモニタ54及び出力スペクトルモニタ60の図示は省略されている。

【0115】このように本実施形態によると1つのビームスプリッタ48'を用いて入力光及び出力光のスペクトルをモニタリングすることができる。分光ビームSP1を反射ビームSP2に変換するためにこの実施形態ではミラー124が用いられているが、プリズム等の他の反射手段も採用可能である。

【0116】図23は本発明の光イコライザの第7実施形態を示す図である。この光イコライザは、図22の第6実施形態と対比して、入力光の光路及び出力光の光路を決定するために共通の光ファイバ126が用いられ、入力光及び出力光を分離するために、光ファイバ126に動作的に接続される光サーキュレータ128が設けられている点で特徴づけられる。

【0117】光サーキュレータ128は3つのポート128A、128B及び128Cを有している。ポート128Aに供給された光はポート128Bから出力され、ポート128Bに供給された光はポート128Cから出力する。

【0118】入力光の光路及び出力光の光路は同じ位置に設定されるので、ミラー124は分光ビームSP1に対して垂直、即ちYZ平面に対して平行である。換言すれば、ミラー124における分光ビームSP1の入射方向と反射ビームSP2の反射方向とがなす角は0°である。

【0119】この実施形態によると、図22の第6実施形態と比較して、光ファイバの光軸調整を容易に行うことができる。

【0120】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によると、波長特性が可変で且つ調節するファクターと得られる波長特性との間に簡単な対応関係が成り立つ光イコライザの提供が可能になる。また、本発明の他の側面によると、任意の成形された波長特性を得ることができる光イコライザの提供が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光イコライザの基本構成を示す図である。

【図2】図1の光イコライザの動作原理の説明図であ

る。

【図3】本発明の光イコライザの第1実施形態を示す斜視図である。

【図4】本発明の光イコライザの第1実施形態を示す平面図である。

【図5】減衰プレートの第1の例を示す図である。

【図6】減衰プレートの第2の例を示す図である。

【図7】減衰プレートの第3、第4及び第5の例を示す図である。

【図8】本発明の光イコライザの第2実施形態を示す平面図である。

【図9】本発明の光イコライザの第3実施形態を示す平面図である。

【図10】図9の光イコライザの特性の例を示す図である。

【図11】図9の光イコライザの特性の他の例を示す図である。

【図12】本発明の光イコライザの第4実施形態を示す平面図である。

【図13】図12におけるA方向矢視図である。

【図14】本発明の光イコライザの第4実施形態を示す斜視図である。

【図15】自動コントローラのブロック図である。

【図16】本発明の光イコライザの第5実施形態を示す平面図である。

【図17】波長板及びポラライザプレートの正面図である。

【図18】本発明を適用可能なWDMシステムのブロック図である。

【図19】光増幅器の構成を示す図である。

【図20】ゲインチルトの説明図である。

【図21】本発明の光イコライザが適用される光源装置のブロック図である。

【図22】本発明の光イコライザの第6実施形態を示す平面図である。

【図23】本発明の光イコライザの第7実施形態を示す平面図である。

【符号の説明】

2 ビームエキスパンダ

4 ビームコンデンサ

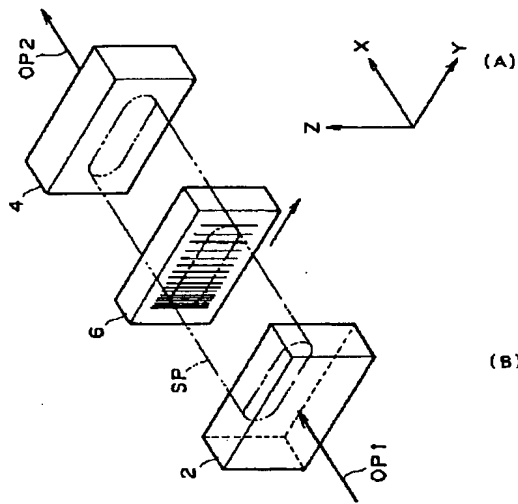
6 減衰プレート

16, 18, 126 光ファイバ

20, 22, 24, 26 回折格子

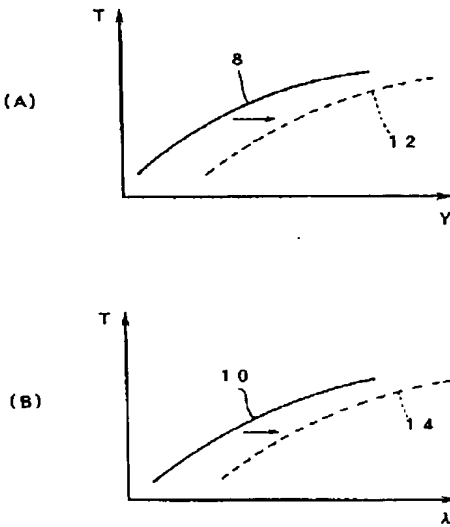
【図1】

光イコライザの基本構成を示す図



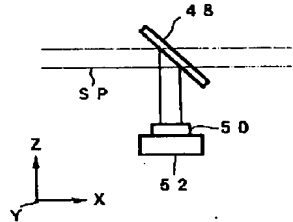
【図2】

光イコライザの動作原理の説明図



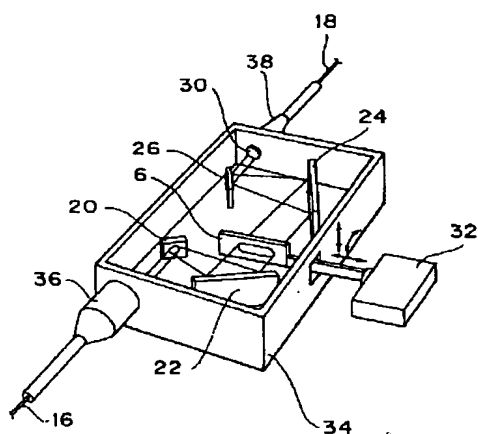
【図13】

図12におけるA方向矢視図



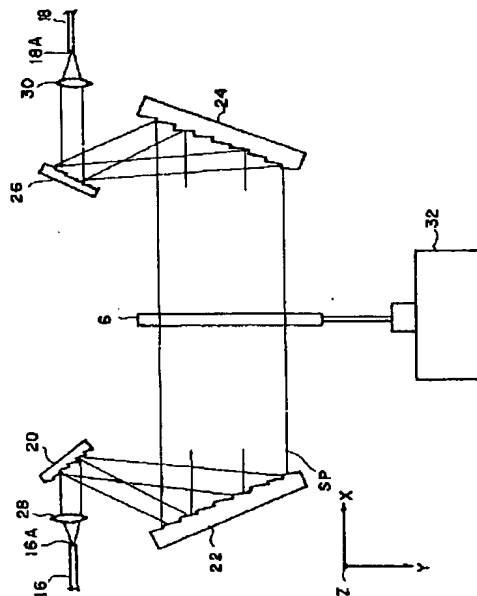
【図3】

光イコライザの第1実施形態を示す斜視図



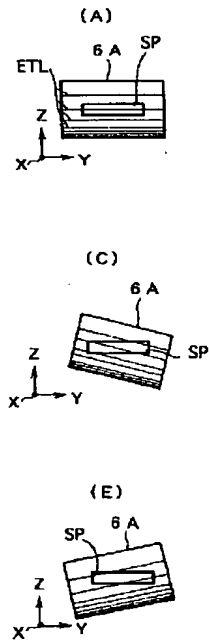
【図4】

光イコライザの第1実施形態を示す平面図



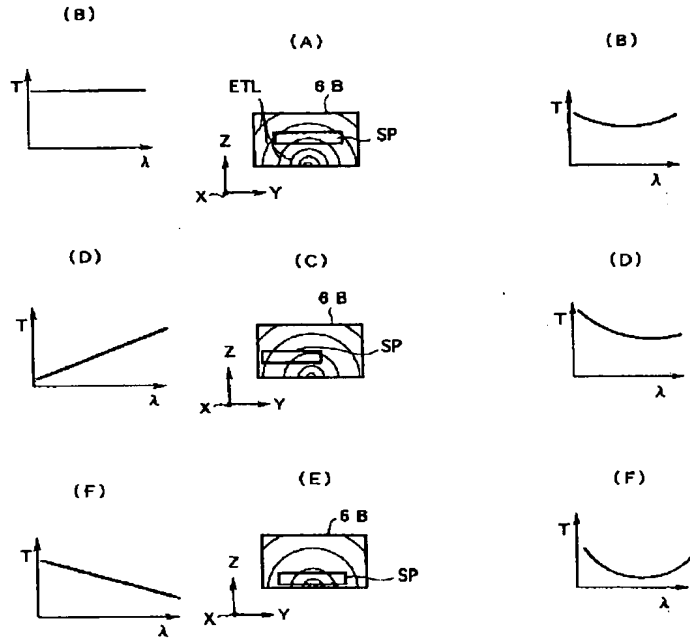
【図5】

減衰プレートの第1の例を示す図



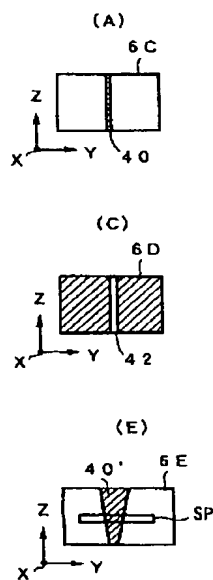
【図6】

減衰プレートの第2の例を示す図



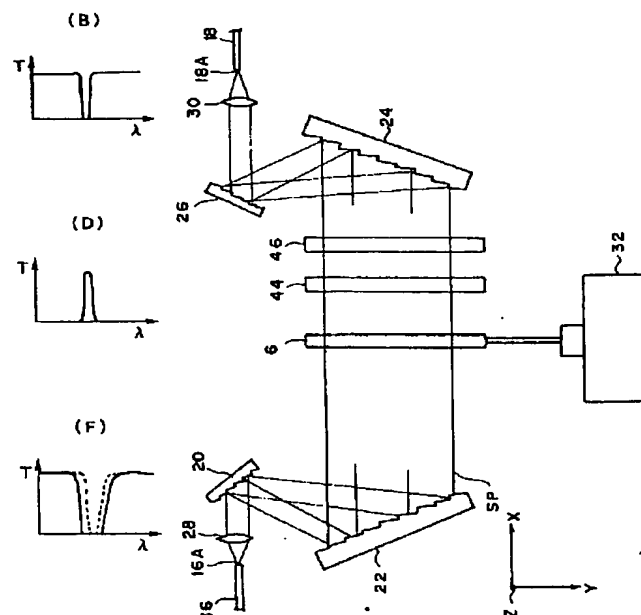
【図7】

減衰プレートの第3、第4、第5の例を示す図



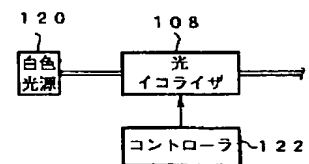
【図8】

光イコライザの第2実施形態を示す平面図



【図21】

光源装置のブロック図



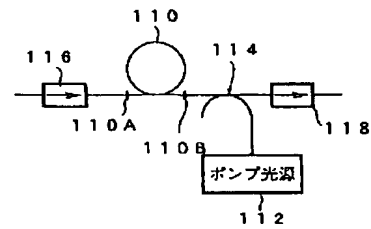
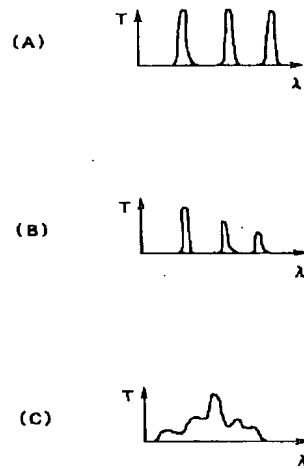
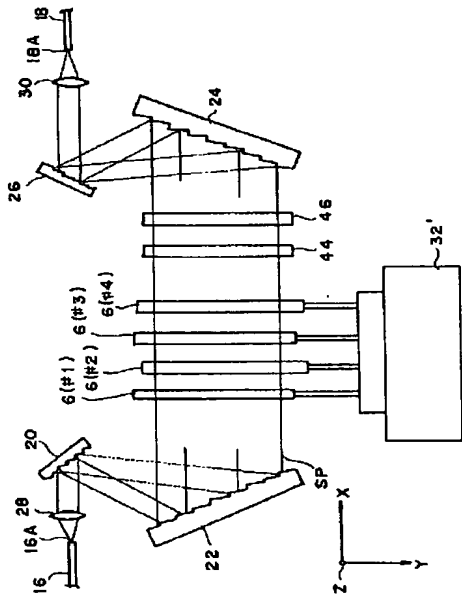
【図9】

【図10】

【図19】

光イコライザの第3実施形態を示す平面図 図9の光イコライザの特性の例を示す図

光増倍器の構成を示す図

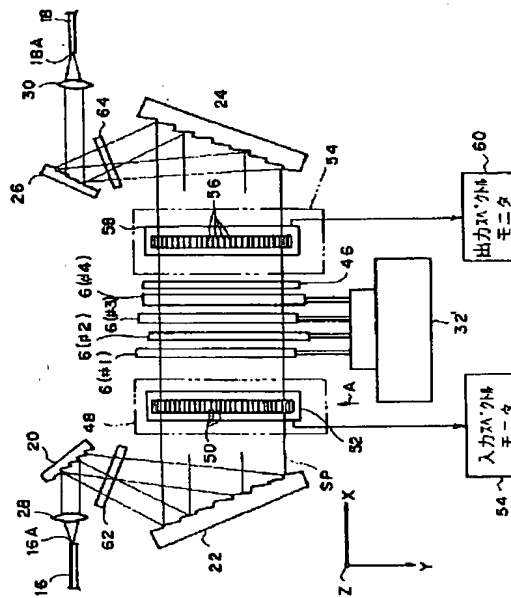
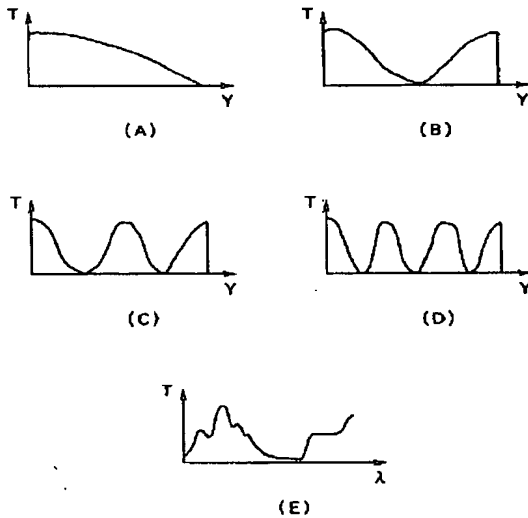


【図12】

光イコライザの第4実施形態を示す平面図

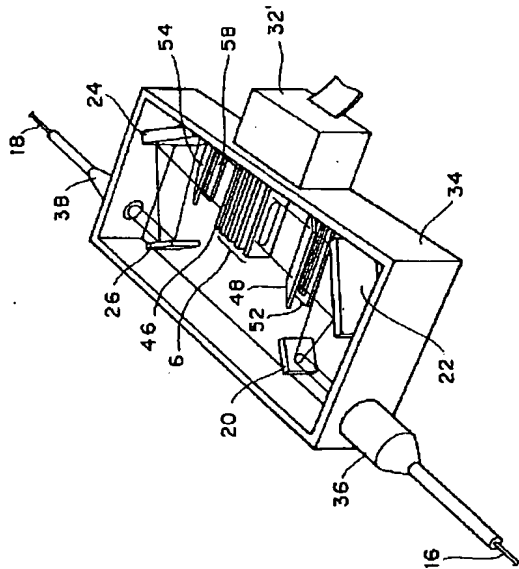
【図11】

図9の光イコライザの特性の他の例を示す図



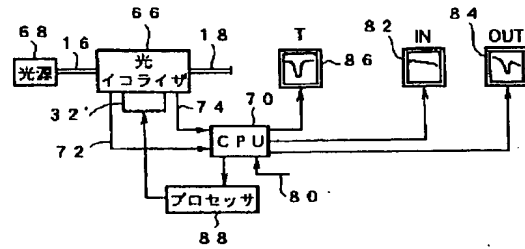
【図14】

光イコライザの第4実施形態を示す斜視図



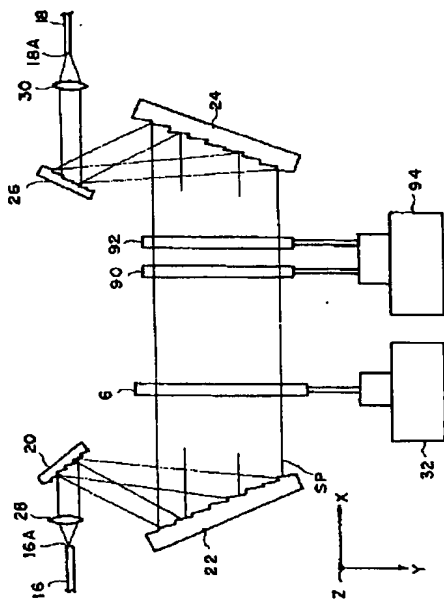
【図15】

自動コントローラのブロック図



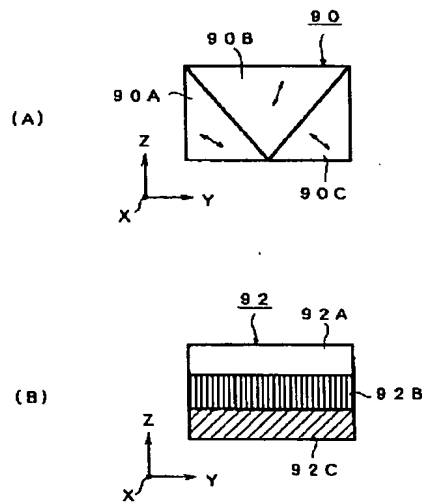
【図16】

光イコライザの第5実施形態を示す平面図



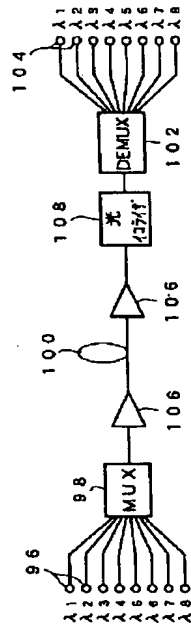
【図17】

波長板及びポラライザプレートの正面図



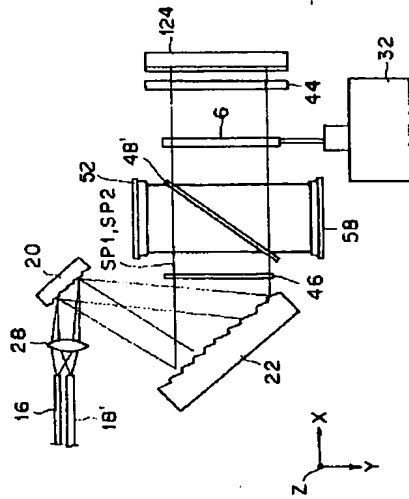
【図18】

本発明を適用可能なWDMシステムのブロック図



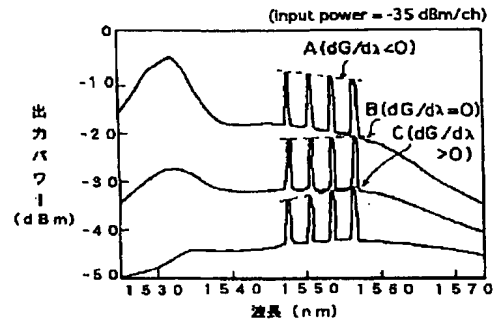
【図22】

光イコライザの第6実施形態を示す平面図



【図20】

ゲインチルトの説明図



【図23】

光イコライザの第7実施形態を示す平面図

